

Т. В. Никонович, кандидат биологических наук, доцент
УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Могилевская область

ВЛИЯНИЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕЗИРУЮЩИХ ПИГМЕНТОВ В ХЛОРО- И ХРОМОПЛАСТАХ ПЛОДОВ ТОМАТА

РЕЗЮМЕ

Выявлены генотипические различия ответной реакции опытных растений томата на последствие светодиодного освещения разного спектрального состава. Экспериментально доказано, что последствие применения светодиодов оказало в основном ингибирующее влияние на биосинтез хлорофиллов и каротиноидов в плодах томата сорта Зорка. У сорта Черри Коралл обеднение плодов данными соединениями на 39 и 34 % наблюдалось лишь в 20-м варианте опыта, тогда как в остальных вариантах, напротив, было показано увеличение их содержания соответственно на 6–40 % и 13–22 %. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований по договору № Б21-069.

Ключевые слова: томат; сорт; спектральный состав света; хлорофиллы; каротиноиды.

ВВЕДЕНИЕ

Получение качественной рассады овощных культур осуществляется, как правило, в контролируемых условиях, где с учетом биологических особенностей растений создаются сочетания наиболее благоприятных факторов, обуславливающих их развитие. Это особенно важно на начальных этапах онтогенеза, поскольку именно в этот период для растений характерны интенсивный обмен веществ, быстрый рост вегетативных органов, а также закладывается основа продуктивности и качества получаемой продукции. Свет является одним из значимых факторов, влияющих на эффективное формирование растений [1]. В настоящее время все большую популярность приобретают светодиодные световые источники, применение которых обеспечивает необходимый цветовой спектр для выращивания многих видов сельскохозяйственных культур. LED-светильники стали лучшей альтернативой естественному освещению, так как выгодно отличаются малым энергопотреблением, высокой светоотдачей и длительным сроком эксплуатации. Светодиодные технологии позволяют получать свет с практически любым спектральным составом и учетом потребностей конкретной культуры, а также управлять параметрами излучения в зависимости от фазы развития растения [2, 3].

Светодиоды могут излучать свет любой длины волны, в том числе физиологически активной радиации, необходимой для функционирования растительного организма. При этом узкий диапазон длин волн светодиодов позволяет конструировать источники освещения с любым соотношением разных областей спектра [4]. Существует мнение, что для выращивания овощных культур целесообразно использовать светодиодные светильники, в которых преобладают красный, оранжевый и синий цвета. Такая цветовая гамма активизирует фотосинтез, дает достаточно энергии для быстрого прорастания и эффективного развития. Однако следует учитывать, что растения используют свет в двух направлениях: фотосинтез и фотоморфогенез. Для фотосинтеза необходимо много света, намного более низкие уровни важны для управления формой и развитием. Свет, который растения используют для фотосинтеза, находится между 400 и 700 нм. Диапазон волн для фотоморфогенеза несколько шире – от 300 нм (ультрафиолетовый свет) до 800 нм (дальний красный). Таким образом, оставив лишь отдельные части спектра, происходит нарушение процессов роста и формообразования. Следовательно, учитывая потребности растения, для его развития необходимо применять полный цветовой спектр [5].

К настоящему времени накоплен достаточно большой опыт, указывающий на высокую эффективность использования излучателей на основе светодиодов для возделывания овощных культур в регулируемых условиях [6, 7], а также свидетельствующий о влиянии спектрального состава света на синтез вторичных метаболитов и продуктивность растений [8]. Кроме того, интерес представляет не только влияние светодиодного освещения на формирование растений на начальных этапах онтогенеза, но и последствие разного спектрального состава светодиодного света на качественное состояние плодов при дальнейшем выращивании растений в поликарбонатных теплицах.

Целью исследований являлось установление степени влияния последствие светодиодного освещения разного спектрального состава на содержание фотосинтезирующих пигментов в плодах двух сортов томата при выращивании их в условиях грунтовой теплицы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научная работа выполнялась в биотехнологической лаборатории и в теплицах кафедры сельскохозяйственной биотехнологии, экологии и радиологии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. В качестве объектов исследований использовались растения томата белорусской селекции: сорт Зорка – раннеспелый детерминантный для открытого грунта, Черри Коралл – индетерминантный сорт вишневидного томата для защищенного грунта. Рассада томата была получена в культуральной комнате при температуре 22 ± 2 °С, влажности воздуха 70–80 %, фотопериоде 16 ч. Всего было 11 вариантов освещения. В качестве источников света использовали светодиодные светильники серии «Светодар» производства ГНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси». В этих светильниках отношение ППФ (плотность потока фотонов

в диапазоне 400–700 нм) оранжево-красной полосы (607–694 нм) к ППФ синей полосы (400–495 нм) варьировалось от 1 до 20. При этом доля ППФ в диапазоне 580–607 нм (желтый) составляла от 13 до 22 %, а доля фотонов в диапазоне 495–580 нм (зеленый) была от 18 до 38 %. По морфометрическим признакам растений томата были определены пять лучших вариантов освещения, которые обозначены порядковыми номерами, присвоенными им согласно общей нумерации, используемой в лаборатории, а именно 16, 17, 19, 20, 21. Контрольным источником света были люминесцентные лампы марки *OSRAM* 36W/765 *Cool Daylight* с плотностью потока фотонов $38,2 \pm 13,4$ мкмоль/м²·с (вариант 22). Характеристика вариантов освещения представлена в таблице 1. Растения, полученные при указанных вариантах светодиодного освещения, высаживались на постоянное место в грунтовые теплицы в 2-кратной повторности по пять растений на делянке. При культивировании применялись общепринятые приемы для выращивания томата: прополка, подкормка, полив, подвязывание, пасынкование, обработка против болезней и вредителей.

В свежих усредненных пробах плодов опытных растений повариантно определяли содержание хлорофиллов *a* и *b* по методу Т. Н. Годнева [9, 10], β -каротина и каротиноидов – по ГОСТ 8756.22-80 [11]. Все измерения и определения осуществляли в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [12], с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особый научный и практический интерес представляет исследование последствий светодиодного освещения на содержание хлорофиллов и каротиноидов в плодах двух сортов томата, выращенных в теплице при естественном освещении. В первую очередь это касалось накопления в плодах наиболее ценных его компонентов с высокой антиоксидантной активностью – хлорофиллов и каротиноидов, в том числе хлорофиллов *a* и *b*, восстановленных углеводов β -каротинов и их окисленных производных – ксантофиллов. Общеизвестно, что биосинтез данных соединений физиологически строго контролируется при адаптации растений к стрессовым условиям [14], к которым следует отнести условия освещения на вегетативной стадии развития опытных объектов.

Таблица 1 – Характеристика вариантов освещения

Вариант освещения	Обозначение светильника	Поток фотонов в диапазоне длин волн 400–800 нм, мкмоль/с	Спектральное соотношение R/B (красный/синий)
16	ДНБ01-4x9-001-05 У4.1	69,3	6,9
17	ДНБ01-4x9-001-03 У4.1	69,1	4,0
19	ДНБ01-4x9-001-09 У4.1	73,9	0,8
20	ДНБ01-4x9-001-07 У4.1	69,3	13,2
21	ДНБ01-4x9-001-08 У4.1	67,9	20,7

Учитывая высокую светозависимость биосинтеза фотосинтезирующих пигментов, следовало предположить пролонгирование влияния данного фактора и на генеративной стадии развития растений томата в условиях теплицы, что подтвердило повариантное сравнение параметров накопления данных соединений в зрелых плодах сортов Зорка и Черри Коралл (табл. 2). Репродуктивные органы сорта Зорка были заметно богаче изучаемыми видами пластидных пигментов, чем таковые сорта Черри Коралл. Естественно, что плоды обоих сортов томата характеризовались незначительным содержанием хлорофиллов, суммарное количество которых у сорта Зорка варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне 30,4–167,1 мг/100 г сухой массы, в том числе хлорофилла *a* – 9,6–52,3 мг/100 г, хлорофилла *b* – 20,8–114,8 мг/100 г, тогда как аналогичные диапазоны варьирования данных показателей в плодах сорта Черри Коралл составляли соответственно 36,8–84,7 мг/100 г, 10,9–29,1 и 25,8–55,6 мг/100 г. При этом в обоих случаях содержание в них хлорофилла *a* вдвое уступало содержанию хлорофилла *b*.

Суммарное содержание каротиноидов в сухой массе плодов сорта Зорка изменялось в рамках эксперимента от 102,7 до 169,7 мг/100 г, в том числе β -каротина – от 47,7 до 78,3, ксантофиллов – от 37,5 до 91,4 мг/100 г, тогда как аналогичные диапазоны варьирования данных показателей в плодах сорта Черри Коралл, значительно уступавшего в накоплении желтых пигментов, охватывали области более низких значений – 44,7–82,5 мг/100 г, 33,5–68,4 и 7,3–16,5 мг/100 г соответственно. При этом соотношение количества хлорофиллов и каротиноидов в плодах сорта Зорка изменялось в рамках эксперимента в диапазоне более низких, чем у сорта Черри Коралл, значений, составлявших 0,30–0,99 против 0,76–1,10, что в первом случае указывало на большую степень деструкции хлорофиллов и усиление позиций каротиноидов в составе комплекса фотосинтезирующих пигментов. Что касается соотношения количества β -каротина и ксантофиллов, то диапазон варьирования у сорта Черри Коралл был в 2,2–12,2 раза выше, чем у сорта Зорка – 3,01–8,30 и 0,68–1,74 соответственно, что свидетельствовало о заметном увеличении в первом случае долевого участия β -каротина в составе каротиноидного комплекса. Наименьшие сортовые различия установлены при последствии 20-го варианта опыта, тогда как наибольшие – при последствии 16-го варианта.

Значительная ширина приведенных диапазонов варьирования в рамках эксперимента содержания хлорофиллов и каротиноидов в плодах обоих сортов томата свидетельствовала о существенном влиянии на их накопление последствия спектрального состава источников светодиодного освещения. Вместе с тем в характере этого влияния отчетливо прослеживались как межвариантные, так и сортовые различия (табл. 3). Так, в плодах сорта Зорка во всех вариантах опыта наблюдалось существенное снижение относительно контроля суммарного содержания и зеленых, и желтых пластидных пигментов соответственно на 43–82 % и 29–40 % при наименьших различиях в первом случае при 17-м варианте и наибольших – в 19-м. При этом наибольшее отставание от контроля содержания каротиноидов в плодах данного сорта,

Таблица 2 – Содержание хлорофиллов и каротиноидов в плодах сортов томата в вариантах опыта с последствием светодневного освещения разного спектрального состава, мг/100 г сухой массы

Вариант опыта	Хлорофиллы			Каротиноиды			Хлорофиллы/ каротиноиды		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a + b</i>	<i>a/b</i>	Сумма	β -каротин		β -каротин/ ксантофиллы	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$		$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	
Сорт Зорка									
Контроль 22	52,3 ± 0,2	114,8 ± 0,3	167,1 ± 0,5	0,5 ± 0	169,7 ± 3,7	78,3 ± 0,4	91,4 ± 3,3	0,86 ± 0,03	0,99 ± 0,02
21	25,1 ± 0,5*	53,2 ± 2,0*	78,3 ± 2,4*	0,5 ± 0	120,9 ± 2,4*	65,2 ± 0,4*	55,7 ± 2,0*	1,17 ± 0,04*	0,65 ± 0,03*
20	18,0 ± 0,4*	39,6 ± 2,1*	57,6 ± 2,5*	0,5 ± 0	108,2 ± 5,7*	61,6 ± 0,9*	46,6 ± 4,8*	1,35 ± 0,12*	0,53 ± 0,01*
19	9,6 ± 1,0*	20,8 ± 0,4*	30,4 ± 1,4*	0,5 ± 0	102,8 ± 0,1*	65,3 ± 0,1*	37,5 ± 0,1*	1,74 ± 0,01*	0,30 ± 0,01*
17	32,0 ± 1,1*	63,4 ± 3,1*	95,4 ± 4,2*	0,5 ± 0	102,7 ± 3,8*	51,2 ± 0,2*	51,5 ± 4,1*	1,01 ± 0,06*	0,93 ± 0,08
16	29,2 ± 0,8*	61,6 ± 1,0*	90,8 ± 1,8*	0,5 ± 0	117,5 ± 1,0*	47,7 ± 0,4*	69,8 ± 0,6*	0,68 ± 0,01*	0,77 ± 0,01*
Сорт Черри Коралл									
Контроль 22	20,5 ± 0,1	40,1 ± 0,6	60,6 ± 0,7	0,5 ± 0	67,8 ± 1,1	51,3 ± 0,2	16,5 ± 1,3	3,15 ± 0,27	0,89 ± 0,01
21	21,9 ± 1,8	40,9 ± 2,5	62,8 ± 4,3	0,5 ± 0	82,2 ± 0,5*	67,7 ± 0,4*	14,5 ± 0,5*	4,72 ± 0,32*	0,76 ± 0,04*
20	10,9 ± 0,3*	25,8 ± 0,2*	36,8 ± 0,1*	0,4 ± 0*	44,7 ± 0,1*	33,5 ± 0,5*	11,2 ± 0,4*	3,01 ± 0,16	0,82 ± 0,01*
19	21,4 ± 0,7	43,1 ± 0,6*	64,5 ± 1,3*	0,5 ± 0	61,7 ± 0,7*	54,4 ± 0,1*	7,3 ± 0,7*	7,56 ± 0,73*	1,05 ± 0,01*
17	22,6 ± 1,1	47,5 ± 1,5*	70,1 ± 0,3*	0,5 ± 0	82,5 ± 1,1*	68,4 ± 0,6*	14,1 ± 0,3*	4,86 ± 0,15*	0,85 ± 0,01*
16	29,1 ± 1,9*	55,6 ± 4,2*	84,7 ± 6,1*	0,5 ± 0	76,8 ± 1,1*	68,3 ± 0,1*	8,5 ± 1,1*	8,30 ± 1,07*	1,10 ± 0,06*

* Статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

как и в листьях [15], также имело место в 19-м варианте опыта. Аналогичное по величине отставание от контроля в их накоплении отмечено также в 17-м варианте опыта, тогда как наименьшее – в 21-м варианте. В большинстве случаев темпы обеднения плодов зелеными пигментами превышали аналогичную тенденцию по желтым пигментам, что обусловило снижение соотношения их количества на 22–70 % по сравнению с контролем, наиболее значительное в 19-м варианте опыта.

У сорта Черри Коралл, в отличие от сорта Зорка, ингибирование в плодах биосинтеза и хлорофиллов, и каротиноидов относительно контроля соответственно на 39 и 34 % наблюдалось лишь в 20-м варианте опыта. Незначительное (на 9 %) снижение в его плодах содержания каротиноидов, сочетавшееся со столь же незначительной активизацией (не более чем на 6 %) накопления в них хлорофиллов, отмечено также в 19-м варианте опыта. В остальных же вариантах последствие светодиодного освещения оказывало, напротив, стимулирующее влияние на биосинтез в плодах сорта Черри Коралл и хлорофиллов, и каротиноидов, что подтверждалось достоверным увеличением их содержания по сравнению с контролем соответственно на 6–40 % и 13–22 %, наиболее значительным в первом случае в 16-м варианте опыта, во втором – в 21-м и 17-м вариантах (табл. 3).

При этом различия темпов накопления зеленых и желтых пигментов обусловили разнонаправленные тенденции в изменении соотношения их количества – снижение на 5–15 % в 17-м, 20-м и 21-м вариантах и увеличение на 18 и 24 % в 19-м и 16-м вариантах опыта. Вместе с тем, несмотря на сортовые различия в изменении биосинтеза зеленых и желтых пластидных пигментов в плодах томата на фоне последствие светодиодного освещения, не выявлено значимого влияния данного фактора на соотношение в них содержания хлорофиллов *a* и *b*. Лишь в единичном случае в плодах сорта Черри Коралл в 20-м варианте опыта более выраженная деградация первого из них обусловила достоверное снижение данного соотношения на 20 %. Однако в каротиноидном комплексе плодов на фоне выраженных сортовых различий в изменении содержания восстановленных и окисленных углеводов относительно контроля у обоих сортов в большинстве вариантов опыта были выявлены однотипные тенденции, состоявшие в более высоких темпах ослабления биосинтеза ксантофиллов, нежели β -каротина. Наибольшими значениями данного показателя у обоих сортов томата характеризовался 19-й вариант опыта, а у последнего также 16-й вариант. При этом лишь в единичных случаях (в 16-м варианте у сорта Зорка и в 20-м – у сорта Черри Коралл) подобной закономерности выявлено не было.

Проявление ответной реакции репродуктивных органов опытных сортов томата на последствие светодиодного освещения разного спектрального состава в накоплении хлорофиллов и каротиноидов представляет особый научный интерес. Поскольку специфика приспособительной реакции растений к стрессовым факторам не является наследственно обусловленным признаком, закрепляющимся в их геноме, и по мере устранения данных факторов обменные процессы обычно нормализуются, то в наших исследованиях

28 Таблица 3 – Относительные различия с контролем вариантов опыта с последствием светодиодного освещения разного спектрального состава по содержанию хлорофиллов и каротиноидов в сухом веществе плодов томата, %

Сорт	Вариант опыта	Хлорофиллы				Каротиноиды				Хлорофиллы/ каротиноиды	Совокупный эффект*
		a	b	a + b	a/b	Сумма	β -каротин	Ксантофиллы	β -каротин/ ксантофиллы		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зорка	21	-52,0	-53,7	-53,1	-	-28,8	-16,7	-39,1	+36,0	-34,3	-243,4
	20	-65,6	-65,5	-65,5	-	-36,2	-21,3	-49,0	+57,0	-46,5	-303,1
	19	-81,6	-81,9	-81,8	-	-39,4	-16,6	-59,0	+102,3	-69,7	-360,3
	17	-38,8	-44,8	-42,9	-	-39,5	-34,6	-43,7	+17,4	-	-244,3
	16	-44,2	-46,3	-45,7	-	-30,8	-39,1	-23,6	-20,9	-22,2	-229,7
Черри Коралл	21	-	-	-	-	+21,2	+32,0	-12,1	+49,8	-14,6	+41,1
	20	-46,8	-35,7	-39,3	-20,0	-34,1	-34,7	-32,1	-	-7,9	-222,7
	19	-	+7,5	+6,4	-	-9,0	+6,0	-55,8	+140,0	+18,0	-44,9
	17	-	+18,5	+15,7	-	+21,7	+33,3	-14,5	+54,3	-4,5	+74,7
	16	+42,0	+38,7	+39,8	-	+13,3	+33,1	-48,5	+163,5	+23,6	+118,4

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

* Установлен путем сложения данных столбцов 3, 4, 5, 7, 8 и 9 с учетом их знака.

обнаруженное сохранение в плодах растений, перенесенных в открытый грунт и обычные условия освещения, характера ответа их на прямое действие светодиодов, установленного еще на вегетативной стадии развития [15, 16], позволяет высказать предположение о присутствии у растений механизмов запоминания.

Для понимания установленных закономерностей в изменении состава каротиноидного комплекса пластид листьев томата следует учитывать, что каротины и их окисленные производные ксантофиллы являются структурными компонентами двух фотосистем (ФС) фотосинтеза – I и II. Они входят в состав и стабилизируют хлорофилл-белковые комплексы ФС, повышая их светособирающую способность, и играют важную роль в защите хлоропластов от фотоповреждений. Локализация каротиноидов в пигмент-белковых комплексах ФС очень консервативна: коровый комплекс (*core-complex*) включает каротины, тогда как периферический светособирающий комплекс (*light-harvesting complex*) содержит ксантофиллы. Каротиноиды защищают хлоропласт от фотодеструкции путем диссипации поглощенной энергии света и прямой дезактивации триплетного хлорофилла или активных форм кислорода, образующихся в процессе фотосинтеза [17, 18].

Исходя из этих представлений, выявленные в ассимилирующих органах растений томата при прямом действии светодиодов изменения общего количества каротиноидов и снижение содержания ксантофиллов на фоне увеличения либо менее значительного, чем у них, снижения количества β -каротина, приводящего к усилению позиций последнего в составе каротиноидного комплекса пластид, на наш взгляд, могли свидетельствовать об адаптивных изменениях в структуре пигмент-белковых комплексов фотосинтетических мембран в пользу реакционных центров ФС фотосинтеза. Аналогичное усиление позиций восстановленных форм каротиноидов в хлоропластах и хромопластах плодов обоих сортов томата, как способа защиты от стрессового фактора, но уже в условиях обычного освещения, подтверждаемое в большинстве вариантов опыта увеличением их соотношения с ксантофиллами по сравнению с контролем, свидетельствует о своеобразном закреплении этого эффекта, ранее выявленного в ассимилирующих органах при прямом светодиодном освещении, что указывает на проявление его последствий уже в обычных условиях. Тем не менее раскрытие механизма этого явления требует проведения дополнительных исследований.

Таким образом, применение светодиодов разного спектрального состава на начальных этапах онтогенеза оказало ингибирующее влияние на биосинтез зеленых и желтых пластидных пигментов не только в ассимилирующих органах [15, 16], но и в плодах исследуемых сортов томата на фоне усиления в каротиноидном комплексе позиций β -каротина, при культивировании растений в условиях естественного освещения, с наибольшей выраженностью у сорта Зорка, что обусловлено последствием светодиодного эффекта.

С целью выявления варианта опыта с максимальной и минимальной степенью влияния изучаемого фактора на плоды томата были определены суммарные показатели относительных размеров положительных и отрицательных отклонений от контроля общего количества хлорофиллов и каротиноидов,

а также содержания основных форм этих пигментов, что позволило установить совокупный отрицательный, а в отдельных случаях и положительный эффект от последствия светодиодов, примененных на вегетативной стадии развития растений [19]. Как следует из данных, представленных в таблице 3, у сорта Зорка обозначенный фактор оказал существенное ингибирующее влияние на основные характеристики пигментного фонда хлоро- и хромопластов плодов, подтверждаемое отставанием от контроля совокупности их значений на 230–360 %. При этом наименьшее, причем сходное по величине ингибирующее последствие светодиодного освещения на биосинтез пигментов в плодах данного сорта установлено в 21-м, 17-м и 16-м вариантах опыта, тогда как наибольшее наблюдалось в 20-м и особенно в 19-м вариантах. Абсолютно идентичная картина выявлена нами и в ассимилирующих органах сорта Зорка на вегетативной стадии развития растений при прямом действии светодиодов [15].

У сорта Черри Коралл негативное влияние последствия светодиодного освещения на пигментный фонд его репродуктивных органов, как и ассимилирующих, оказалось менее значительным, чем у сорта Зорка, что свидетельствовало о меньшей его восприимчивости к данному фактору. На это указывало отставание от контроля совокупности исследуемых показателей только в двух вариантах опыта – в 19-м и особенно в 20-м, отмеченных у сорта Зорка наибольшим ее снижением. Однако у сорта Черри Коралл степень этого снижения существенно уступала таковой у сорта Зорка – в 1,4 раза в 20-м варианте и в 8 раз – в 19-м. В остальных же вариантах опыта последствие светодиодного освещения на состояние пигментного фонда плодов сорта Черри Коралл имело позитивный характер, что подтверждалось увеличением совокупности его количественных характеристик на 41–118 % по сравнению с контролем, наиболее значительным в 16-м варианте опыта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Последствие применения светодиодов оказало в основном ингибирующее действие на биосинтез хлорофиллов и каротиноидов в плодах томата сорта Зорка, проявившееся в существенном снижении их содержания по сравнению с контролем на 43–82 % и 29–40 %, наиболее выраженном в 19-м варианте опыта. У сорта Черри Коралл обеднение плодов данными соединениями на 39 и 34 % наблюдалось лишь в 20-м варианте опыта, тогда как в остальных вариантах, напротив, было показано увеличение их содержания соответственно на 6–40 % и 13–22 %, наиболее значительное для зеленых пигментов в 16-м варианте опыта, для желтых – в 21-м и 17-м вариантах.

В каротиноидном комплексе плодов на фоне выраженных сортовых различий в изменении содержания восстановленных и окисленных углеводов у обоих сортов томата в большинстве вариантов опыта выявлены однотипные тенденции, состоявшие в более высоких темпах ослабления биосинтеза ксантофиллов, нежели β -каротина, и совпадавшие с таковыми в ассимилирующих органах при прямом действии светодиодов даже по степени

увеличения соотношения их количества – на 17–102 % у сорта Зорка и на 50–164 % у сорта Черри Коралл при наибольших значениях у обоих сортов в 19-м варианте опыта.

Установлено существенное ингибирующее влияние последействия светодиодного освещения на совокупность шести основных характеристик пигментного фонда хлоро- и хромопластов плодов сорта Зорка, подтверждаемое отставанием данного показателя от контроля на 230–360 %, наименьшим в 21-м, 17-м и особенно в 16-м вариантах опыта и наибольшим в 20-м и 19-м вариантах. Для сорта Черри Коралл отставание от контроля совокупности исследуемых показателей было установлено только в 19-м и 20-м вариантах опыта при меньшей, чем у сорта Зорка, степени этого снижения (в 8,0 и 1,4 раза соответственно) на фоне увеличения данного показателя на 41,0–118,0 % в остальных вариантах опыта, наиболее значительного в 16-м варианте.

Список использованных источников

1. The Contribution of Photosynthesis to the Red Light Response of Stomatal Conductance / I. Baroli [et al.] // *Plant Physiol.* – 2008. – Vol. 146. – P. 737–747.
2. Massa, G. D. Plant productivity in response to LED lighting / G. D. Massa, R. M. Wheeler, C. A. Mitchell // *Hort Science.* – 2008. – № 43. – P. 1951–1956.
3. Куделина, Т. LED освещение – эффективный инструмент регуляции морфогенеза растений / Т. Куделина, О. Молчан // *Наука и инновации.* – 2022. – № 5 (231). – С. 67–72.
4. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспектива / И. Бахарев [и др.] // *Современные технологии автоматизации.* – 2010. – № 2. – С. 76–82.
5. Оценка качества растений томата при последействии светодиодного освещения разного спектрального состава / Т. В. Никонович [и др.] // *Селекция и генетика: инновации и перспективы* : сб. ст. по материалам II Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию юбилею д-ра с.-х. наук, проф. В. И. Бушуевой. – Горки : БГСХА, 2022. – С. 378–382.
6. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками / О. В. Аверчева [и др.] // *Физиол. раст.* – 2009. – Т. 56, вып. 1. – С. 17–26.
7. Тихомиров, А. А. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы / А. А. Тихомиров, Т. М. Лисовский – Новосибирск : Изд-во Сиб. Отд. РАН, 2000. – 213 с.
8. Количественная оценка накопления стевиозида в различных вегетативных органах стевии в условиях искусственного освещения / А. А. Тихомиров [и др.] // *Вестн. КрасГУ.* – 2004. – № 7. – С. 150–156.
9. Годнев, Т. Н. Хлорофилл: его строение и образование в растении / Т. Н. Годнев. – Минск : Изд-во Акад. наук БССР, 1963. – 318 с.
10. Фотосинтез. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов / авт.-сост. Л. В. Кахнович. – Минск : Изд-во Белорус. гос. ун-та, 2003. – 88 с.

11. Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения каротина : ГОСТ 8756.22-80. – Введ. 01.01.81 (дата последнего изменения 13.07.2017). – М. : Изд-во стандартов, 2010. – 6 с.
12. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели : учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 320 с.
13. Боровиков, В. П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 656 с.
14. Hirschberg, J. Carotenoid biosynthesis in flowering plants / J. Hirschberg // Current Opinion in Plant Biology. – 2001. – Vol. 4, № 3. – P. 210–218. [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(00\)00163-1](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(00)00163-1).
15. Никонович, Т. В. Влияние светодиодного освещения на содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях томата. / Т. В. Никонович, Ю. В. Трофимов, М. И. Баркун // Овощи России. – 2021. – № 1. – С. 117–120.
16. Никонович, Т. В. Влияние светодиодного освещения разного спектрального состава на биохимические характеристики растений томата / Т. В. Никонович, Ю. В. Трофимов // Вестн. аграр. науки Узбекистана. – 2022. – № 3 (3). – С. 142–145.
17. Navaux, M. Zeaxanthin has enhanced antioxidant capacity with respect to all other xanthophylls in arabidopsis leaves and functions independent of binding to PSII antennae / M. Navaux, L. Dall'Osto, R. Bassi // Plant Physiology. – 2007. – Vol. 145, № 4. – P. 1506–1520.
18. Reactive oxygen species and transcript analysis upon excess light treatment in wild-type Arabidopsis thaliana vs a photosensitive mutant lacking zeaxanthin and lutein / A. Alboresi [et al.] // BMC Plant Biology. – 2011. – Vol. 11, № 1. – P. 62.
19. Способ ранжирования таксонов растений : пат. ВУ 17648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев. – Оpubл. 30.10.13.

Поступила в редакцию 16 ноября 2022 г.

T. V. Nikonovich

THE EFFECT OF LED LIGHTING AFTEREFFECT ON THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN CHLORO- AND CHROMOPLASTS OF TOMATO FRUITS

SUMMARY

Genotypic differences in the response of experimental tomato plants to the aftereffect of LED lighting of different spectral composition were revealed. It has been experimentally proven that the aftereffect of LEDs had mainly an inhibitory effect on the biosynthesis of chlorophylls and carotenoids in the fruits of the Zorka tomato variety. The Cherry Coral variety showed depletion of these compounds by 39 and 34 % only in the 20th variant of the experiment, while the other variants, on the contrary, showed an increase in their content by 6–40 % and 13–22 %, respectively. This work was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research under contract № Б21-069.

Key words: tomato; variety; spectral composition of light; chlorophylls; carotenoids.